

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra Výrobních strojů a konstruování

Návrh stavebnicové konstrukce pracovní plošiny

Prefabricated Framework Design of Working Floor

Student:

Martin Baránek

Vedoucí práce:

Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Baránek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení
Téma: **Návrh stavebnicové konstrukce pracovní plošiny**
Prefabricated Framework Design of Working Floor

Zásady pro vypracování:

Navrhněte stavebnicový systém pro univerzální pracovní plošinu, která by se montovala z unifikovaných a typizovaných dílců dle rozměrového zadání zákazníka. Konstrukce musí být výškově variabilní po jednotlivých schodových stupních v rozsahu od 0,5m do 2,5m. Minimální šířka plošiny je 0,6m a maximální 2m. Na základě vlastní analýzy si vhodně zvolte délkový rozsah. Nosnost plošiny bude 250kg na jeden metr čtvereční. V úvodu proveďte rešerši zaměřenou na běžné konstrukce pracovních plošin. Zpracujte vlastní konstrukční návrh. Zkontrolujte konstrukci pro kritické rozměry. Zpracujte výkresovou dokumentaci (rozsah upřesní vedoucí práce).

Seznam doporučené odborné literatury:

KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1290-8
KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonu strojů*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1860-3
DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. Spojovací části strojů. Návrh. Výpočet. Konstrukce*. Montanex a.s. Ostrava, 2000, ISBN 80-7225-018-3
MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0878-1
NĚMČEK, M.: *Řešené příklady ČaMS Spoje*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014
Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 14.5.2015

Martin Písek

Podpis

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 14. 5. 2015



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Martin Baránek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Antonína Sovy 37, Opava 5

ANOTACE

BARÁNEK, M. *Návrh stavebnicové konstrukce pracovní plošiny: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2015, 49 s. Vedoucí práce Kubín T.

Bakalářská práce se zabývá návrhem stavebnicové konstrukce pracovní plošiny, která má být unifikovaná a typizovaná z jednotlivých dílců. Konstrukce je výškově variabilní po jednotlivých schodových stupních od 0,5m do 2,5m. Minimální šířka plošiny je 0,6m a maximální 2m. Nosnost plošiny je 250kg/m². Konstrukce pracovní plošiny je montovaná. Je navržena v souladu s legislativou České republiky. Bakalářská práce obsahuje rozdělení pracovních plošin a normy spojené s pracovní plošinou. Následně část řeší konstrukční prvky plošiny. Pevnostní kontrola rámu je provedena pomocí rámové analýzy. Řešení problému přemostění je řešeno pomocí metody konečných prvků.

ANNOTATION

BARÁNEK, M. *Prefabricated Framework Desing of Working Floor : Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical Univesity of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Desing, 49 p. Supervisor Kubín T.

The Bachelor thesis deals with prefabricated framework design of working floor. The framework should be unified and standardized according to the individual components. The design is variable height through each single steps from 0,5 m to 2,6 m. Furthermore minimum width is 0,6 m and maximal 2 m. The maximum load of this particular working floor is 250 kg per square meter. The working floor is designed as easy assembled according to individual parts. The working floor is designed in accordance with the legislation of the Czech Republic. First part describes categories and standards associated with the Working floor. Second part is focused to design floor's parts. Strength test is performed by frame analysis. The problem with bridging is solved by finite element method.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	7
ÚVOD.....	9
1 PRACOVNÍ PLOŠINY	10
1.1 STATICKE PLOŠINY	10
1.2 DYNAMICKÉ PRACOVNÍ PLOŠINY	14
1.3 LEGISLATIVA	16
2 VYUŽITÍ PRACOVNÍ PLOŠINY	19
3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	21
3.1 RÁM	21
3.2 NOHY	22
3.3 SCHODIŠTĚ	27
3.4 UNIVERZÁLNÍ SPOJKA	28
3.5 ZAVĚTROVÁNÍ	33
3.6 ZÁBRADLÍ PRO PLOŠINU	33
3.7 ZÁBRADLÍ PRO SCHODIŠTĚ	34
3.8 ŠROUBOVÝ SPOJ	35
4 KONTROLNÍ ANALÝZY	36
4.1 ANALÝZA RÁMOVÝCH KONSTRUKCÍ	36
4.2 PEVNOSTNÍ ANALÝZA	40
5 ZÁVĚR	45
6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	46
7 SEZNAM PŘÍLOH.....	48
PODĚKOVÁNÍ.....	49

Seznam použitých značek a symbolů

B	Délka nohy	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	Síla	[N]
F_{krit}	Kritická hodnota síly	[N]
F_o	Osová síla ve šroubu	[N]
F_p	Provozní síla	[N]
F_s	Osové zatížení šroubu	[N]
F_z	Síla působící obvodově na závit	[N]
F_y	Reakční síla	[N]
G	Výsledná tíhová síla	[N]
H	Šířka nohy	[mm]
L	Výška nohy	[mm]
L_{red}	Redukovaná délka protu	[mm]
M_k	Krouticí moment	[N.mm]
M_{oF2}	Ohybový moment	[N.mm]
M_{TZ}	Třecí moment v závitě	[N.mm]
M_{TM}	Třecí moment matice	[N.mm]
M_u	Utahovací moment	[N.mm]
P_h	Stoupání závitu	[mm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_{TM}	Střední poloměr matice	[mm]
S	Plocha	[mm ²]
S_k	Rozměr klíče	[mm]
S_{sv}	Plocha svaru	[mm ²]
W_{osv}	Modul průřezu svaru v ohybu	[mm ³]
W_k	Průřezový modul v krutu	[mm ³]
A	Velikost koutového svaru	[mm]
B	Délka svaru	[mm]
d_a	Průměr otvoru podložky	[mm]
d_2	Střední průměr závitu	[mm]
d_3	Malý průměr závitu	[mm]
d'_3	Teoretický malý průměr závitu	[mm]

F	Délka nohy	[mm]
f_D	Dynamický součinitel	[-]
f_z	Součinitel smykového tření na závitu	[-]
G	Výsledné tíhové zrychlení	[m.s ⁻²]
H	Šířka nohy	[mm]
I	Poloměr setrvačnosti	[m]
K	Bezpečnost proti prokluzu spojovaných částí	[-]
k_s	Součinitel statické bezpečnosti	[-]
k_3	Převodní součinitel koutového svaru	[-]
k_4	Převodní součinitel koutového svaru	[-]
L	Délka svaru	[mm]
I_{min}	Minimální kvadratický moment	[mm ⁴]
I_x	Kvadratický moment k ose x	[mm ⁴]
I_y	Kvadratický moment k ose y	[mm ⁴]
M	Hmotnost	[kg]
N	Koeficient uložení prutu	[-]
Q	Spojité zatížení	[N.mm ⁻²]
T	Tloušťka plechu	[mm]
A	Úhel závitu	[°]
B	Součinitel tloušťky koutového svaru	[-]
η_s	Účinnost pohybového šroubu	[-]
Λ	Štíhlost prutu	[-]
λ_m	Mezní štíhlost prutu	[-]
Π	Konstanta	[-]
σ_{DOVt}	Dovolené napětí v tahu	[MPa]
σ_t	Takové napětí	[MPa]
σ_{RED}	Redukované napětí	[MPa]
σ_u	Mez úměrnosti	[MPa]
T	Napětí v krutu	[MPa]
Ψ	Úhel stoupání závitu	[°]
φ'	Třecí úhel závitu	[°]
τ_{\perp}	Napětí v krutu kolmé na svar	[MPa]
$\tau_{ }$	Napětí v krutu rovnoběžný na svar	[MPa]

ÚVOD

Hlavním cílem této práce je navrhnout pracovní plošinu, která by se montovala z unifikovaných a typizovaných dílců dle rozměrového zadání zákazníka. Konstrukce musí být výškově variabilní po jednotlivých schodových stupních v rozsahu od 0,5m do 2,5m. Minimální šířka plošiny je 0,6m a maximální 2m. Nosnost této konstrukce bude 250kg/m^3 . Při řešení téhle problematiky, jsem přišel na využití, které by se dalo navzájem spojovat a napojovat. Díky tomuto řešení lze plošinu prodloužit do příslušné délky podle konkrétního přání zákazníka. Tohle konstrukční řešení se díky své variabilitě dá použít například při umývání či opravě vlakových souprav nebo nahlížení do nákladového prostoru velkých nákladních automobilů. Dále může sloužit jako přechod pasového dopravníku ve velkých výrobních halách, anebo pro obsluhu CNC strojů.

Tato stavebnicová konstrukce může být vyrobena z několika druhů materiálů, například slitiny ocele, hliníku či nerez. Konstrukce vyrobené z oceli již na trhu můžeme najít, avšak tyto konstrukce mají vysokou hmotnost a jsou většinou svařované. Výhodou konstrukcí z oceli je jejich výrobní cena, která je z výše uvedených materiálů nejnižší. Mezi další výhodu bych zmínil širokou dostupnost oceli. Konstrukce z nerezové oceli bych pro své řešení nenavrhoval z finančních důvodů. Jako nejlepší materiálové použití se mi jeví slitina hliníku, protože konstrukce z tohoto materiálů má vysokou pevnost a nízkou hmotnost.

1 PRACOVNÍ PLOŠINY

Pracovní plošiny mohou mít několik účelů použití, ale obecně platí, že jednotlivé plošiny si navrhují k určitému účelu nebo pro konkrétní obsluhu nějakého daného zařízení.

Pracovní plošiny se rozdělují do dvou základních typů:

1.1 Statické plošiny

Statické plošiny se nejčastěji staví na jedno místo, kde zůstávají po celou dobu práce s plošinou.

Statické plošiny rozdělujeme do dvou základních podskupin. První jsou technologické ocelové konstrukce, které jsou celé svařované a používají se k obsluze zařízení, nebo jako nosná konstrukce. Stavební ocelová konstrukce, se zabývá nosnými prvky hal, reklamních poutačů a pro skladování sypkých hmot.

Technologické ocelové konstrukce

- Svařence pro stavební stroje
- Plošiny
- Energetické mosty
- Svařence pro energetiku
- Svařence pro telekomunikace
- Svařence základových rámců
- Svařence potrubních rámců
- Svařence potrubních mostů a potrubí
- Svařence dopravníku

Stavební ocelové konstrukce

- Ocelové konstrukce hal a přístřešků
- Ocelové konstrukce zastřešení ČS
- Nosné ocelové konstrukce pro skladování sypkých hmot
- Mostní svařované konstrukce
- Reklamní poutače

Rozdělení statických pracovních plošin dle užití:

Pracovní plošiny pro plynové zásobníky

Tato pracovní plošina slouží k obsluze a kontrole plynových zásobníků, rozpoznáme to dle jejich zásobníků, které jsou uloženy několik metrů nad zemí, z důvodu snadné obsluhy a manipulace.



Obr. 1 – Pracovní plošina pro plynové zásobníky[9]

Pracovní plošina pro přechod mezi pásovým dopravníkem

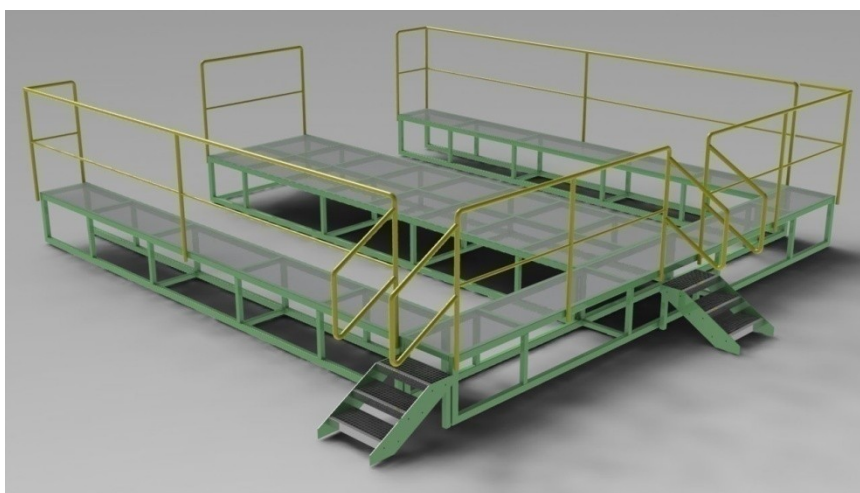
Pracovní plošina pro přechod mezi dopravním dopravníkem, už podle názvu je jasné k čemu slouží. Tato pracovní plošina se využívá především ve firmách, kde jsou rozlehlé výrobní haly a tyto dopravníky mají například délku až 2000 m. Hlavní využití této plošiny může být například pro obsluhu spouštěcího panelu, který je umístěn nad dopravníkem. Toto řešení jde dobře vidět na obrázku 2. Další využití této plošiny je bezpečný průchod nad pásem a také kontrola výrobků nebo surovin, které se zrovna nachází na pásu.



Obr. 2 – Pracovní plošina pro přechod mezi pásovým dopravníkem[11]

Pracovní plošiny pro obráběcí centra

Tyto pracovní plošiny se používají proto, aby daný dělník byl schopen pohodlně nahlížet do daného zařízení a mohl kontrolovat výrobu. Tento typ plošin se používá především k obsluze CNC center, poloautomatických strojů. Tento typ plošin může být dále použit pro obsluhu větších výrobních strojů.



Obr. 3 – Pracovní plošina pro obráběcí centra[10]

Pracovní plošiny pro servisní účely

Účel těchto pracovní plošin je, aby se technik dostal na střechu lokomotiv vlaků, anebo vlakových souprav, kde může provést jejich kontrolu či opravu. Tato plošina může také sloužit k umývání celých souprav vlaků. Toto řešení nemusí být použito jen ve vlakovém průmyslu, ale také může sloužit pro nahlížení do nákladového prostoru velkých nákladních automobilů či kamionů. Výše uvedené řešení může být využito například v zemědělském průmyslu, hlavně tedy při přejímce surovin ve výrobních podnicích. Umím si to představit například ve velkých mlýnech, kde přivezou obilí k mletí mouky a technik tohoto mlýna při přejímce musí odebrat vzorek a zkontrolovat jakost dovezené suroviny.



Obr. 4 – Pracovní plošina pro servisní účely[12]

Pracovní plošiny pro speciální účely

Tyto pracovní konstrukce se dělají na zakázku podle přání zákazníka. Většinou tyto konstrukce většinou slouží v atypickém prostředí, kde nelze použít výše uvedené plošiny. Na obrázku 5 je pracovní plošina sloužící k jednoduché manipulaci a montování vrtulí a pohonu u helikoptér.



Obr. 5 – Pracovní plošina pro speciální účely[12]

1.2 Dynamické pracovní plošiny

Dynamické plošiny se používají tam, kde je potřeba manipulace s plošinou. Díky pohonu, který mají plošiny zabudovány se s nimi může jednoduše pohybovat a navíc mají díky tomuto řešení více využití.

Dynamické pracovní plošiny rozlišujeme na tři základní typy:

Nůžkové pracovní plošiny

Nůžkové pracovní plošiny – jsou vhodné tam, kde je možné s plošinou pohybovat kolmo směrem nahoru, a kde není potřeba dosahovat na strany. S využitím tohoto řešení se můžeme setkat ve velkých supermarketech se stavebními materiály.[1]



Obr.6 – Nůžková pracovní plošina[13]

Kloubové pracovní plošiny

Kloubové pracovní plošiny – jsou vhodné pro manipulaci, kdy je třeba dosáhnout do stran. Předností kloubových plošin je možnost vytočení kloubu s pracovním košem o 360°. Toto řešení je asi nejvíce využíváno v běžném životě. Můžeme se s ním setkat například při opravách lamp veřejného osvětlení, anebo také je také hojně využíváno marketingovými společnostmi při vylepování reklamních ploch či billboardů.[1]



Obr.7 – Kloubová pracovní plošina[14]

Teleskopické pracovní plošiny

Teleskopické pracovní plošiny – se využívají pro manipulaci, kdy je potřeba velkého stranového dosahu. Teleskopická ramena je obvykle možné vytočit o 360° a teleskopické plošiny jsou často vybaveny i otočně pracovní košem. Výhodou tohoto řešení oproti kloubovým pracovním plošinám je, že se můžeme dostat do větších výšek.[1]



Obr. 8 – Teleskopická pracovní plošina[15]

1.3 Legislativa

Zábradlí plošiny

Zábradlí se skládá alespoň z horní tyče, která slouží jako madlo a záložky u podlahy, která naopak slouží jako ochranná lišta o výšce minimálně 0,15 m. Tyto bezpečnostní prvky slouží, jako ochrana před spadnutím z plošiny anebo pádem nářadí z plošiny. Je-li výška podlahy nad okolní úrovní větší než 2 m, musí být prostor mezi horní tyčí (madlem) a záložkou u podlahy vybaven právě proti propadnutí osob. Osazení jedné nebo více středních tyčí, případně jiné vhodné výplně. Vše musí být logicky použito s ohledem na místní a provozní podmínky. Za dostatečnou se považuje výška horní tyče (madla) nejméně 1,1 m nad podlahou, nestanoví-li zvláštní právní předpis. V následující

tabulce můžeme vidět, v jaké výšce musí být umístěno zábradlí od podstavy konstrukce plošiny. Tyto hodnoty se řídí podle stanovených norem ČSN.[2]

	Výška h [mm]	Použití
snížená	900	hloubka volného prostoru $d \leq 3 \text{ m}$
základní	1000	hloubka volného prostoru $3 \text{ m} \leq d < 12 \text{ m}$
zvýšená	1100	hloubka volného prostoru $d > 12 \text{ m}$
zvláštní	1200	hloubka volného prostoru $d > 30 \text{ m}$

Tab. 1 – Rozdělení výšky trvalého zábradlí dle normy ČSN 743305[2]

Schodiště

Schodišťové stupně jsou tvořeny roštem podle normy DIN 24537, nášlapnou hranou, která je zesílena speciálním profilem s protiskluznou úpravou a upevňující desky (boční lemy) jsou uzpůsobeny pro přišroubování stupně k nosné konstrukci pomocí šroubu box bolt. Přípustná síla působící středově na nášlápnutí v ploše 100 x 100 mm je 1500 N. Schodišťové stupně opatřené zoubkovanými proti-skluznými rošty nebo v nerezovém provedení.[3]

Rošt

Schodišťové rameno tvoří minimálně 3 a maximálně 16 výšek schodišťových stupňů (hlavního schodiště), u pomocných schodišť a uvnitř bytů pak nejvíce 18 výšek, poté musí být schodišťové rameno přerušeno podestou. Všechny stupně v jednom schodišťovém rameni musí mít stejnou výšku, v přímých ramenech i stejnou šířku. Vzájemný vztah výšky a šířky stupně je dán vzorečkem $2h + b = 630 \text{ mm}$ (h =výška, b =šířka, kdy 630 = ideální krok). Optimální výška schodišťového stupně se pohybuje v rozmezí 150 až 180 mm. Minimální průchodná šířka schodišťového ramene je v rodinných domech 900 mm, v bytových 1100 mm a v případě žebříkových schodišť 550 mm.[3]

Zábradlí schodiště

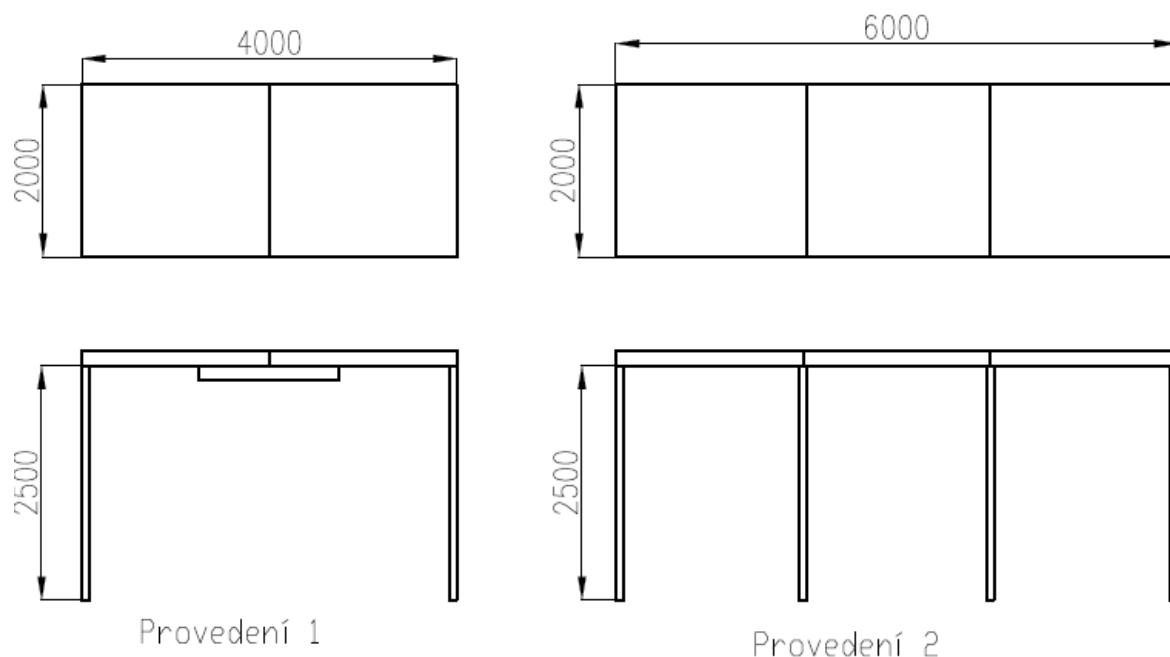
Přímé schodišťové rameno s průchodnou šířkou do 1650 mm (u smíšených ramen do 1100 mm) musí mít madlo alespoň na jedné straně, větší průchodná šířka (násobek 550mm) vyžaduje madlo na obou stranách. Schodišťové rameno širší než 2750 mm se doporučuje rozdělit mezilehlým zábradlím s madlem. Hrozí-li nebezpečí podklouznutí nebo propadnutí, musí být zábradlí u podlahy opatřena ochranou lištou nejméně 100 mm vysokou. Ve všech případech, kdy není předepsaná větší nebo dovolena snižená, je výška zábradlí 1000 mm. Snižená výška zábradlí 900 mm. Pokud je hloubka volného prostoru nejvýše 3 m.[4]

2 VYUŽITÍ PRACOVNÍ PLOŠINY

Ze zadání vyplívá, že tahle konstrukce by měla být smontovaná z unifikovaných a typizovaných dílů dle zadání zákazníka. Tato konstrukce musí být výškově variabilní po jednotlivých schodových stupních od 0,5 m do 2,5 m, a šířkový rozsah plošiny je od 0,6 m do 2 m. Podle toho jsem zvolil vhodný délkový rozsah. Tento rozsah byl maximální, aby i zatížení bylo na danou konstrukci co největší. Délku jsem zvolil podle vlastní úvahy, aby se daná konstrukce dala použít pro více účelů použití, jak lze vidět na prvních třech provedení.

Provedení 1 jsem zvolil nejméně vhodnou možnost, z důvodu přemostění, například přes dopravník. Toto provedení jsem více rozebral v dalších kapitolách. Provedení 1 jsem zvolil jako nejvíce kritickou plošinu, z důvodu přemostění, proto tenhle problém řeším v MKP analýze.

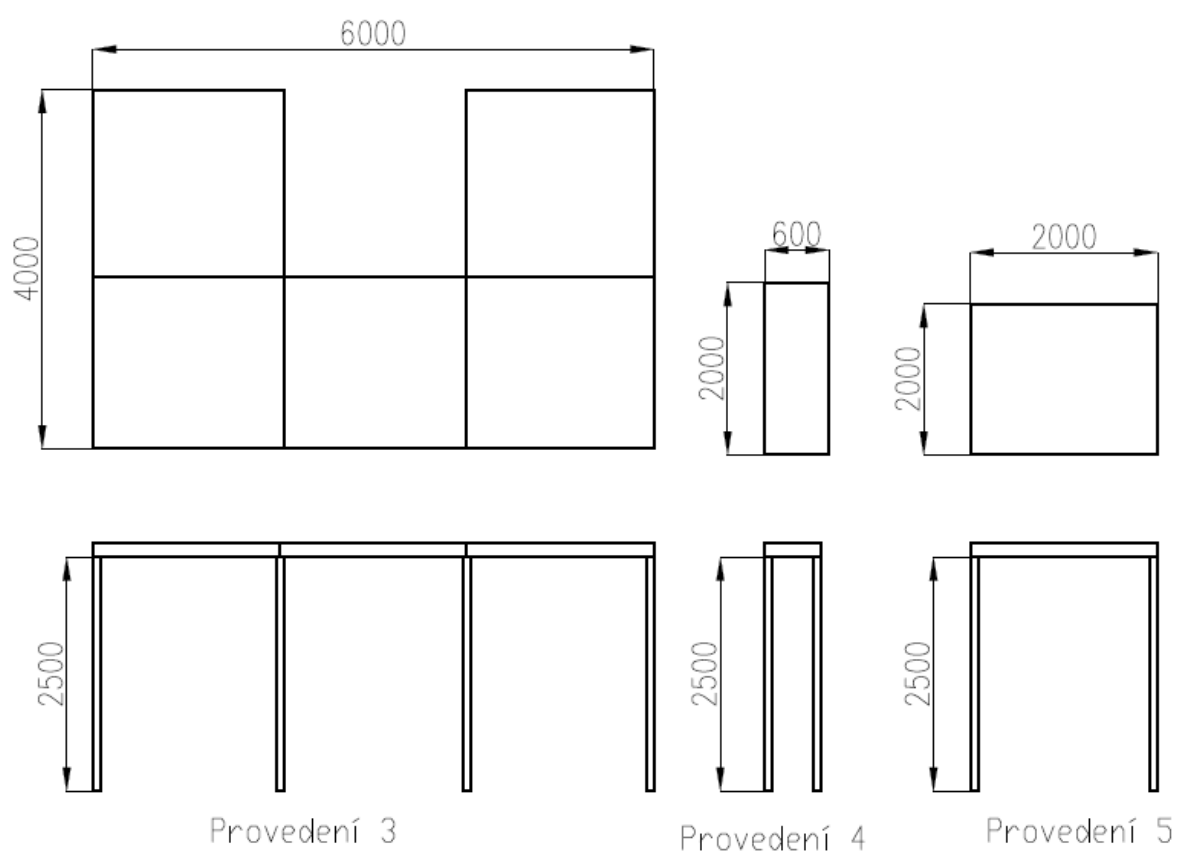
Další provedení 2 jsem volil pro účely, nahlížení a kontrolu pracovních prostorů nákladních automobilů. Dále taky pro umývání, opravu a údržbu vlakových souprav.



Obr. 9 – Vybrané konstrukce 1

Konstrukce provedení 3 se může použít tam, kde se plošina musí dostat za roh. Jako příklad bych uvedl, podobně jako na obrázku 3, k obsluze pracovních center, například CNC strojů.

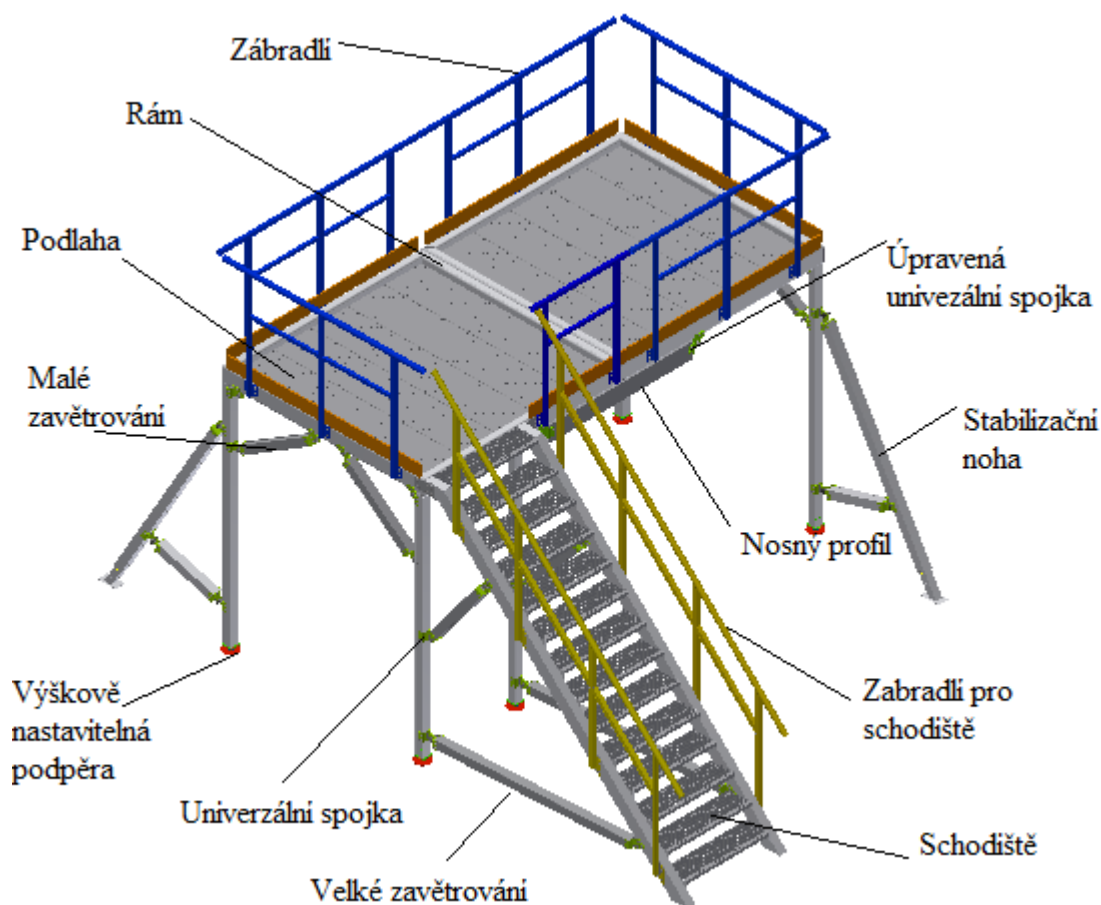
Provedení 2 by se mohlo používat pro speciální účely, jako je zde vidět na obrázcích 4 a 5. Tato konstrukce je nestabilní, potřebuje stabilizační prvek, nebo ukotvení. Jak lze vidět na výkresu sestavy.



Obr. 10 – Vybrané konstrukce 2

3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

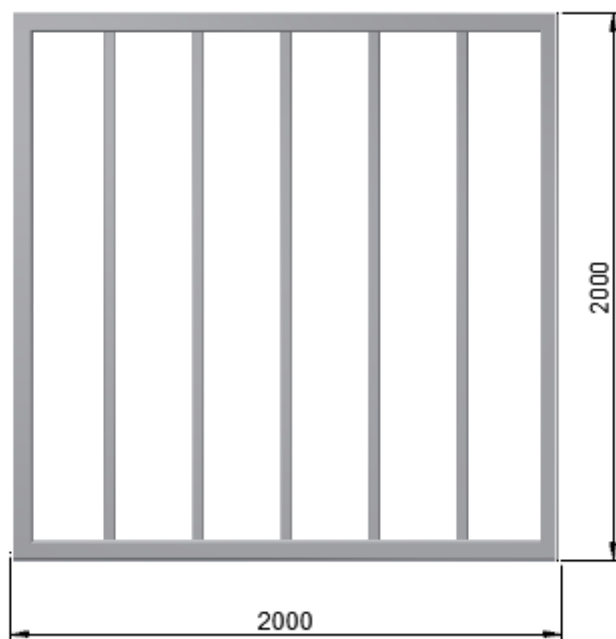
Provedení 1 jsem si zvolil, aby zde byly všechny konstrukční prvky. Jednotlivé díly se dají použít na více řešení. Rozměry jednoho dílu plošiny jsem si zvolil ten největší, abych zjistil maximální zatížení na danou konstrukci a kritické místa. Délku jsem si zvolil podle vlastní úvahy 2000 mm.



Obr. 11 – Vlastní konstrukční řešení

3.1 Rám

Rám slouží jako nosná část plošiny, která je svařovaná z hliníkového profilu. Tuhle konstrukci jsem dělal v programu Autodesk Inventor v rámové konstrukci. Hlavní profily jsem využil z programu knihovny a použil normu DIN. Příčné profily jsem využil normy ISO. Tyhle normy jsou i dostupné v ČSN normě.



Obr. 12 Nosný rám pracovní plošiny

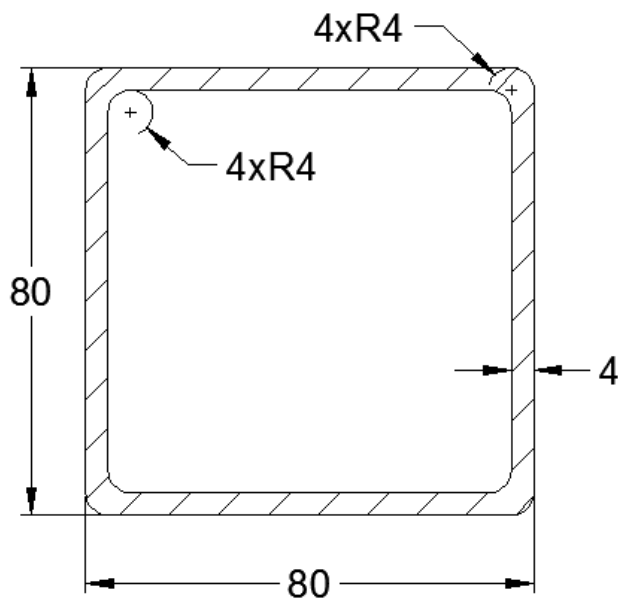
Podlaha

Výplň podlahy si zákazník může zvolit dle přání, vyplnění může být slíčkou plech na krajích ohnutý, OSB desku nařezanou přímo na míru, nebo další možností je položení dřevěných prken. Tato možnost mi připadá jako nejlepší neboť se zmenší hmotnost plošiny. Pro případ, že bude podlaha klouzat tak je možnost poležení gumy. Poslední varianta výplně je kovový rošt, který nejméně zajímavý neboť vzroste hmotnost celkové plošiny.

3.2 Nohy

Nohy jsou tvořeny profilem o rozměrech 80 x 80 x 4 z hliníkového materiálu, aby tahle konstrukce byla lehká. Tenhle profil jsem vybral proto, aby byl lehce a volně dostupný. U schodiště bude vždy noha, aby byla zabezpečena stabilita schodů a plošiny. Přimontuje se tam další přídatná noha, k téhle noze bude přichycené schodiště, díky tomu zajistíme stabilitu schodiště. Noha bude zpevněna pro bezpečnost a stabilitu konstrukce.

Výpočet vzpěru nohy



Obr. 13 Řez nohou pracovní plošiny

Zatížení na jeden metr čtvereční je 2500 N. Pracovní plošina má 4 metry čtvereční. Takže maximální zatížení je 2500 N na jednu nohu.

$$I_{min} = I_x, I_y = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{12} = \frac{80 \cdot 80^3 - 72 \cdot 72^3}{12} = \mathbf{1173845,33 \text{ mm}^4} \quad (1)$$

$$S = B \cdot H - b \cdot h = 80 \cdot 80 - 72 \cdot 72 = \mathbf{1216 \text{ mm}^2} \quad (2)$$

$$i = \sqrt{\frac{I_{min}}{S}} = \sqrt{\frac{1173845,33}{1216}} = \mathbf{31,07 \text{ mm}} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{L}{i} = \frac{2329}{31,07} = \mathbf{74,96} \quad (4)$$

$$\lambda_m = n \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_u}} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{68,9 \cdot 10^3}{210}} = \mathbf{28,45} \quad (5)$$

$$L_{red} = \frac{L}{n} = \frac{2329}{0,5} = 4658 \text{ mm} \quad (6)$$

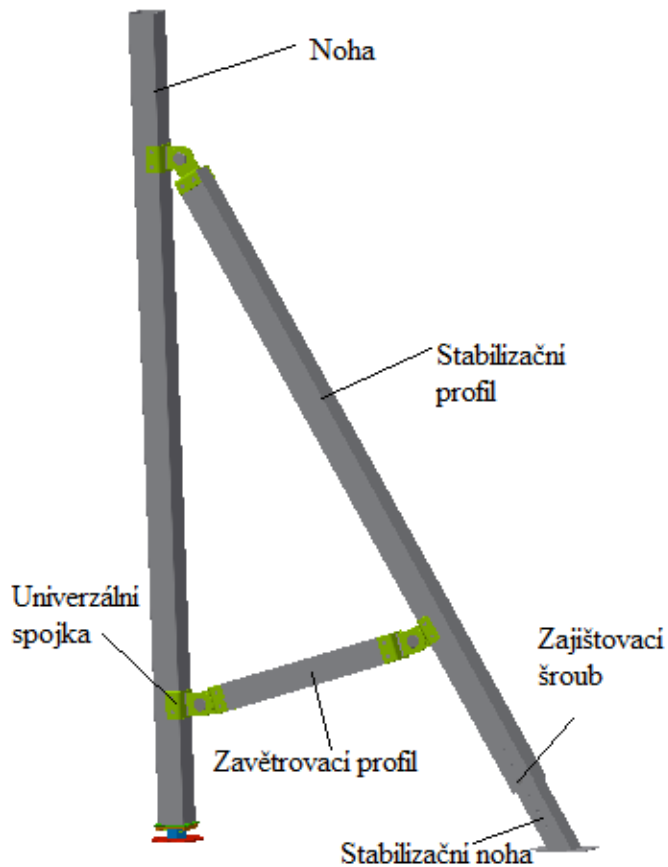
$$F_{KRIT} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{L_{red}} = \frac{\pi^2 \cdot 68,9 \cdot 10^3 \cdot 1173845,33}{4658^2} = 36790,01 \text{ N} \quad (7)$$

$$0 \leq F \leq F_{KRIT} \quad (8)$$

$$0 \leq 2500 \leq 36790 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (9)$$

Stabilizace nohy pro provedení 4

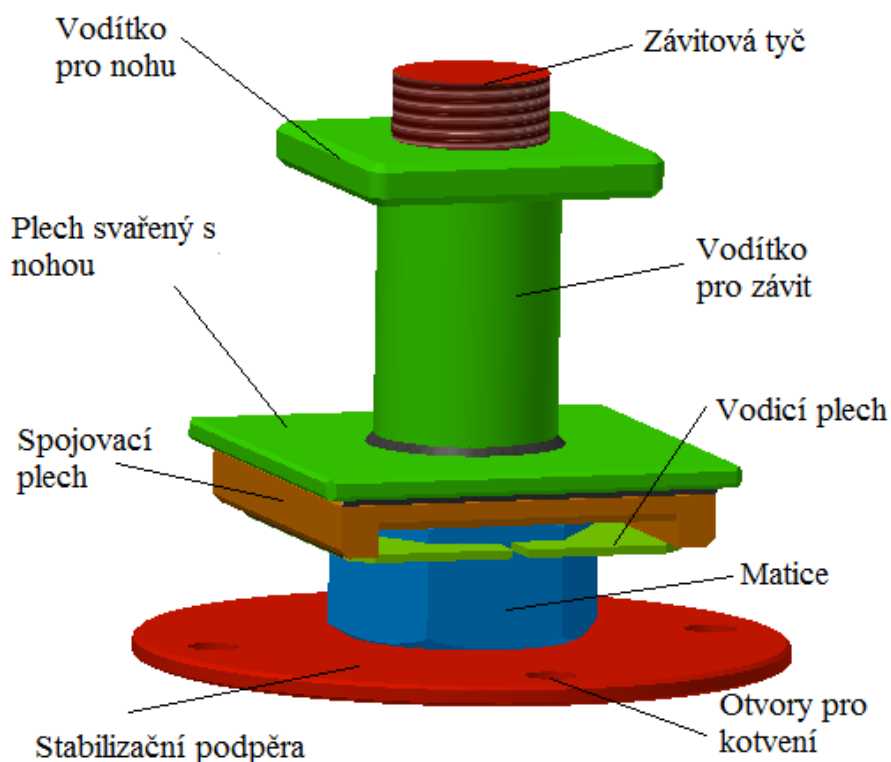
Toto konstrukční provedení je pro případ provedení 4, aby konstrukce byla stabilní. Proto se přidá k noze stabilizační podpora plošiny.



Obr. 14 – Řešení stabilizace nohy

Výškově nastavitelná podpěra

Výškově nastavitelná podpěra by měla sloužit k stabilizaci plošiny a drobnému nastavení výšky. Tohle konstrukční řešení je uděláno na drobné doladování výšky. V tomhle řešení jsem musel zabezpečit podpěrnou tyč proti možnému vypadnutí. Proto jsem do konstrukce dal matici, která bude vložena do dvou vodicích plechů. V matici bude být závit, který bude sloužit jako vodicí prvek. Jak jde vidět na obrázku 14.



Obr. 14 – Konstrukční řešení výškově nastavitelná podpěra

Materiál závitů volím 1.7227 Re = 750 MPa[5]

Tíhová síla

$$G = g \cdot m = 9,81 \cdot 150 = \mathbf{1471,5\ N} \quad (10)$$

Maximální zatížení

$$F = 2500 \cdot 4 = \mathbf{10000\ N} \quad (11)$$

Celková síla

$$F_s = G \cdot F = 1471,5 + 10000 = \mathbf{11471,5\ N} \quad (12)$$

$$\sigma_t \cdot \beta_k \leq \sigma_{Dt} \quad (13)$$

$$\frac{F_s}{\pi \cdot \left(\frac{d'_3}{2}\right)^2} \cdot \beta_k \leq \frac{R_e}{k_s} \quad (14)$$

Součinitel statické bezpečnosti volím $k_s = 3$. Koeficient tahu volím $\beta_k = 1,3$ [13]

$$d'_3 \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{\beta \cdot k_s \cdot F_s}{R_e \cdot \pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1,3 \cdot 3 \cdot 11471,5}{750 \cdot \pi}} = \mathbf{8,72\ mm} \quad (15)$$

Volím polotovár tyče 36 mm, z důvodů estetiky a funkčnosti spoje v noze. Závit volím

Tr 36 x 6.

$$d_2 = 33\ mm$$

$$d_3 = 29\ mm$$

Pevnostní kontrola

$$\sigma_t = \frac{F_s}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{11471,5}{\pi \cdot \left(\frac{29}{2}\right)^2} = \mathbf{17,37\ MPa} \quad (16)$$

$$\psi = \arctg \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \frac{6}{\pi \cdot 33} = \mathbf{3,312^\circ} \quad (17)$$

$$\varphi' = \arctg \frac{f_z}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{0,2}{\cos\left(\frac{30}{2}\right)} = \mathbf{11,7^\circ} \quad (18)$$

Výpočet účinnosti závitu

$$\eta_s = \frac{\tg \psi}{\tg(\psi + \varphi')} = \frac{\tg(3,312)}{\tg(11,7 + 3,312)} = \mathbf{0,216} \quad (19)$$

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F_z \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot d_3^3} = \frac{F_s \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot d_3^3} =$$

$$\tau = \frac{11471,5 \cdot \operatorname{tg}(3,312 + 11,7) \cdot \frac{33}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot 29^3} = \mathbf{10,6 \text{ MPa}} \quad (20)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{17,37^2 + 4 \cdot 10,6^2} = \mathbf{27,41 \text{ MPa}} \quad (21)$$

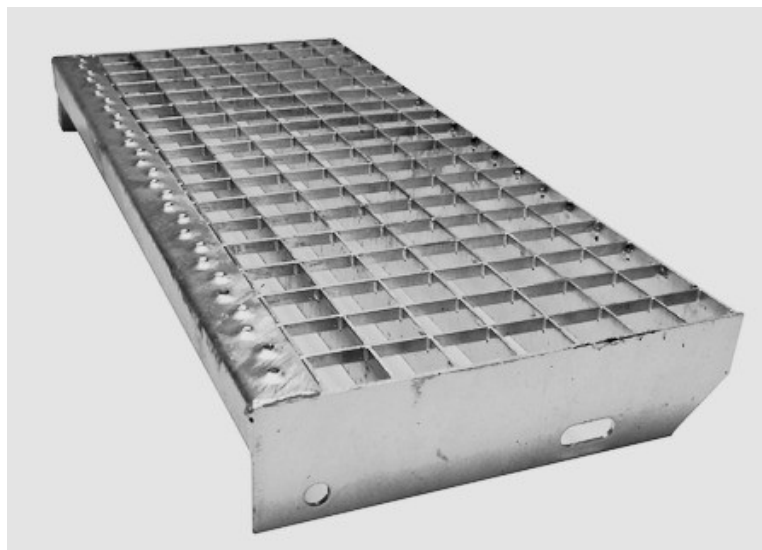
$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{750}{27,41} = \mathbf{27,36} \geq 1,5 \text{ VYHOVUJE} \quad (22)$$

3.3 Schodiště

Toto řešení je tvořeno čtrnácti rošty. Jsou umístěny podle výšky roštů, od sebe 180 mm a nášlapná délka je 236 mm, pod úhlem 45°. A po obou stranách konstrukčními prvky, které zajistí dobré dosednutí schodiště na rám. Úhel jsem volí z důvodu, menší využití pracovního místa. Tohle schodiště bude uchyceno na nosný rám a pojištěno přes dva plechy na nosný rám šrouby box bolt, pojištění bude díky zavětrování na dvou místech z jedné strany. Díky toho docílím kvalitní spojení rámu a schodiště. Schodiště může být montované. Rošty budou sešroubované k nosné části schodiště dvěma šrouby box bolt na jedné straně. Další možnost je svařované schodiště, takhle volba je podle přání zákazníka.

Schod

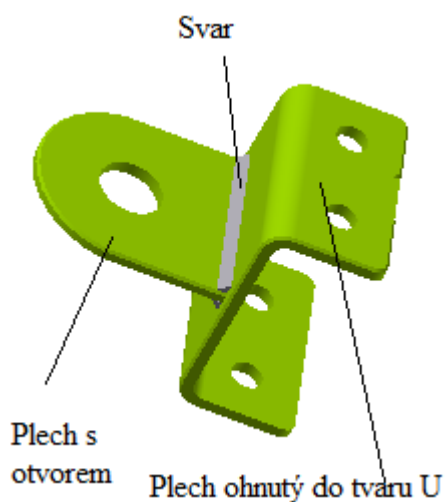
Jeden schod je tvořen z 5 částí, z nosného prvku a roštu proti kluzné hraně. Zbylé části jsou jenom zaplechování schodů. Vzájemný vztah výšky a šířky stupně je dán vzorečkem $2h + b = 630 \text{ mm}$ (h =výška, b =šířka, kdy 630 = ideální krok). Optimální výška schodišťového stupně se pohybuje v rozmezí 150 až 180 mm.



Obr.15 – Lisovaný schodový stupeň [3]

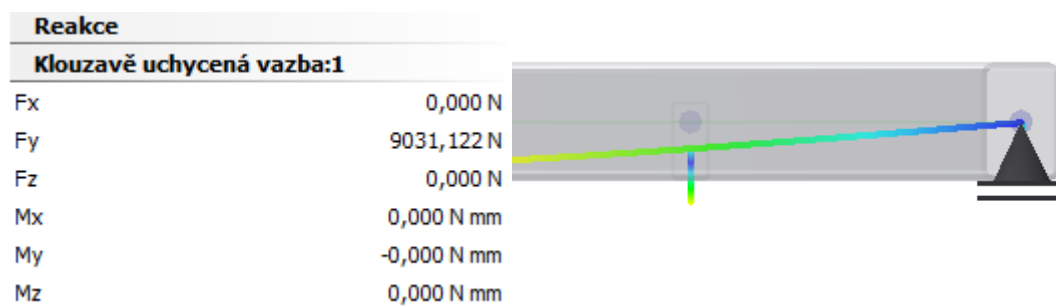
3.4 Univerzální spojka

Tohle spojení má pomoc spojit většinu dílu plošiny, má to být univerzální spojení. Díky němu se chytají nohy s rámem. Také zavětrování je chyceno přes tyto univerzální spojky. Díky tomuto chytrému spojení lze použít jakoukoliv velkou zavětrovací tyč. V případě přemostění plošiny se tato spojka musí nahradit vyztuženou univerzální spojkou, protože takhle pevnostně nevyhovovala. Na jedné straně je výřez, díky kterému dělník pozná, na jakou stranu může spojku montovat, jelikož takhle spojka je mimostředná, kvůli montáži.



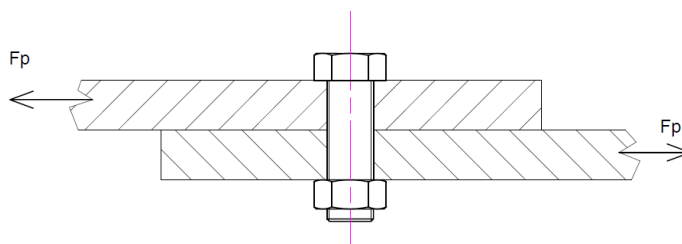
Obr. 16 – Univerzální spojka

Výpočet univerzální spojky



Obr. 17 - Výsledná reakce

Schéma působení sil na šroub



Obr. 18 Schéma působení sil na šroub

Návrh šroubu

$$F_p < F_t \quad (23)$$

$$k \cdot F_p = F_0 \cdot f \quad (24)$$

$$F_0 = \frac{k \cdot F_p}{f} = \frac{1,3 \cdot 9031}{0,1} = \mathbf{117403 \text{ N}} \quad (25)$$

Materiál šroubu volím 12.9 s mezí kluzu $R_e = 1080 \text{ MPa}$ [13]

$$\sigma_t \leq \sigma_{DOVt} \quad (26)$$

$$\beta_k \cdot \frac{F_0}{\frac{\pi \cdot d_3'^2}{4}} \leq \frac{R_e}{k_s} \quad (27)$$

Součinitel statické bezpečnosti volím $k_s = 2$. Koeficient tahu volím $\beta_k = 1,3$ [13]

$$d_3' \geq \sqrt{\frac{F_0 \cdot k_s \cdot \beta_k}{\pi \cdot R_e}} = \sqrt{\frac{117403 \cdot 3 \cdot 1,3}{\pi \cdot 1080}} = \mathbf{11,62 \text{ mm}} \quad (28)$$

Původně jsem uvažoval s šroubem M20x0,5 jehož statická bezpečnost nedosáhla hodnoty $k_s = 3$. Z d_3' volím šroub M24x1

$$d_2 = 23,350 \text{ mm}$$

$$d_3 = 22,773 \text{ mm}$$

Pevnostní kontrola

$$\sigma_t = \frac{F_0}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{117403}{\frac{\pi \cdot 22,773^2}{4}} = \mathbf{288,24 \text{ MPa}} \quad (29)$$

$$\psi = \arctg \frac{Ph}{\pi \cdot d_2} = \arctg \frac{1}{\pi \cdot 23,350} = \mathbf{0,78^\circ} \quad (30)$$

$$\varphi' = \arctg \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \arctg \frac{0,2}{\cos \frac{60}{2}} = \mathbf{13^\circ} \quad (31)$$

$$\tau = \frac{M_{TZ}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{117403 \cdot \operatorname{tg}(0,78 + 13) \cdot \frac{23,350}{2}}{\frac{\pi \cdot 22,773^3}{16}} \quad (32)$$

= 144,96 MPa

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{288,24^2 + 4 \cdot 144,96^2} = \mathbf{408,82 \text{ MPa}} \quad (33)$$

$$k_s = \frac{Re}{\sigma_{RED}} = \frac{1080}{403,63} = \mathbf{2,64} > 2 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (34)$$

Výpočet utahovacího momentu

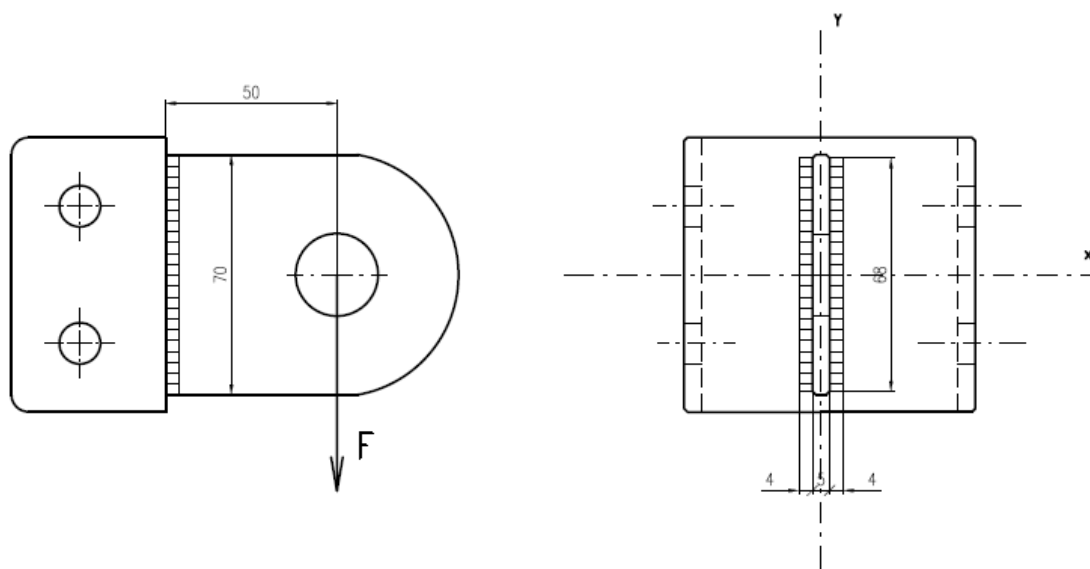
$$M_u = M_{TZ} + M_{TM} = F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + F_0 \cdot f \cdot R_{TM} \quad (35)$$

$$R_{TM} = \frac{S_k + d_a}{4} = \frac{36 + 25}{4} = \mathbf{15,25 \text{ mm}} \quad (36)$$

$$M_u = 115908 \cdot \operatorname{tg}(0,78 + 13) \cdot \frac{23,350}{2} + 115908 \cdot 0,1 \cdot 15,25 =$$

508643,04 N · mm

$$M_u = \mathbf{509 \text{ N} \cdot \text{m}} \quad (37)$$



Obr. 19 Výpočtové schéma svarového spojení spojky

Kontrola svaru

Při výpočtu uvažuji ze zaoblení profilu. Výpočtová délka svarů je $l = 68 \text{ mm}$, $a = 4 \text{ mm}$.
Hodnoty z obr. 10.

Výpočet ohybu

$$\tau_{\perp} = \frac{M o_{F2}}{W o_{sv}} = \frac{F \cdot L}{2 \cdot \frac{a \cdot l^2}{6}} = \frac{3 \cdot F \cdot L}{a \cdot l^2} = \frac{3 \cdot 9031 \cdot 50}{4 \cdot 68^2} = \mathbf{73,2 \text{ MPa}} \quad (38)$$

Výpočet smyku

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_2}{2 \cdot S_{sv}} = \frac{F_2}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{9031}{2 \cdot 4 \cdot 68} = \mathbf{16,6 \text{ MPa}} \quad (39)$$

Výpočet redukovaného napětí

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}}{k_3}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}}{k_4}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{73,24}{0,85}\right)^2 + \left(\frac{16,6}{0,9}\right)^2} = \mathbf{88,1 \text{ MPa}} \quad (40)$$

Výpočet součinitelů tloušťky koutového svaru

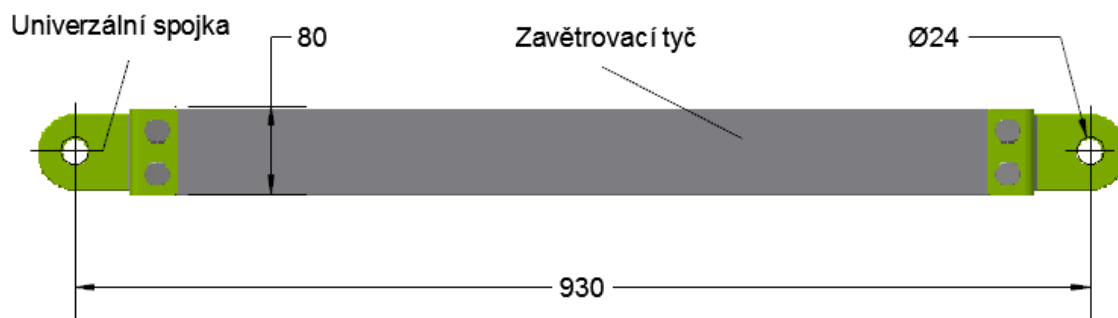
$$\beta = 1,3 - 0,03 \cdot t = 1,3 - 0,03 \cdot 5 = \mathbf{1,15} \quad (41)$$

Výpočet bezpečnosti svaru

$$k_s = \frac{R_e \cdot \beta}{f_D \cdot \sigma_{red}} = \frac{390 \cdot 1,15}{1,5 \cdot 88,1} = 3,39 > 3 \text{ VYHOVUJE} \quad (42)$$

3.5 Zavětrování

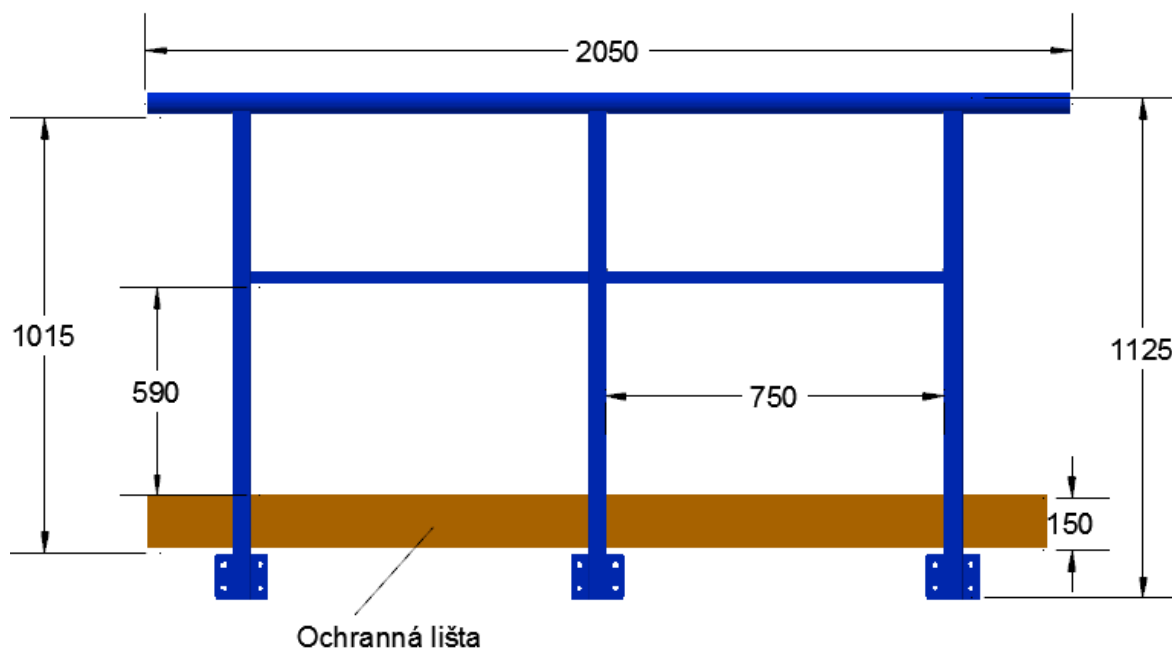
Zavětrování slouží k rozložení zatížení a stabilizaci plošiny. Tato součást bude ve dvou velikostech, jedna je na obrázku, druhá velikost je profil o délce 2 m. Tyto délky nejsou pevné, podle přání zákazníka lze zvolit velikost. Zavětrování se skládá, ze dvou univerzálních spojek tyto spojky jsou uchycené k profilu, pomocí box bolt. Zavětrovací tyč je vyrobena z hliníkové slitiny, ale univerzální spojka je vyrobena z oceli, kvůli větší pevnosti.



Obr. 20 - Schematicky zobrazení zavětrování plošiny

3.6 Zábradlí pro plošinu

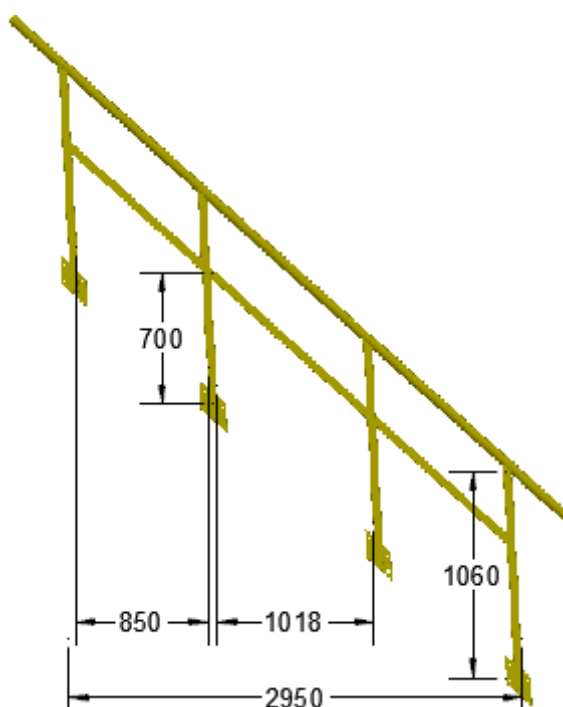
Zábradlí u plošiny se vyrábí jako jeden ucelený blok. Je ve dvou velikostech, první velikost je na obrázku 21. Druhá velikost je pro 1 m, pro menší provedení. V dolní části zábradlí je ochranná lišta dle normy. Výška madla by měla být nejméně 0,9 m, ale volil jsem 1 m, protože výška se bere až od spodní plochy ochranné lišty. Ochrana lišta bude spodní plochou opřena o rám. Celá konstrukce je ze slitiny hliníku, díky tomu bude zábradlí lehké s lehkou manipulací. Zábradlí je celé svařováno, i ochranná lišta je přivařena k nosným prvkům.



Obr. 21 - Schematický zobrazení zábradlí plošiny

3.7 Zábradlí pro schodiště

Tohle zábradlí mění délky podle délky schodiště. V nejmenší velikosti jsou pouze dva nosné profily zábradlí. Tahle velikost na obrázku je maximální. Profily tohoto zábradlí jsou ze slitiny hliníku, aby byla co nejlehčí a snadno se s ní manipulovalo. Celá konstrukce je svařovaná.



Obr. 22 – Zábradlí schodiště

3.8 Šroubový spoj

Tenhle šroubový spoj je výjimečný, protože šroub nemusí mít průchozí díru. Díky tomu je perfektní pro použití na tomto příkladu. Šroub je prodejný zatím jenom v USA, ve třech délkových velikostech. Prodává se jinak normálně, akorát je značený v palcích. Tento šroub se jmenuje box bolt. Je k povšimnutí na obrázku 23. Principem je matice pevně spojená s roztahovacím plechem. Díky tomu, jak se šroub začne dotahovat a matice se utahuje do opačného směru, se klínek pohybuje směrem k matici šroubu a tím roztahuje rozpěrný plech. Šrouby se vyrábějí ve dvou materiálech: měkká ocel 1.1151 nebo nerezová ocel 1,4401.[6]

			bezpečné prac. Zatížení (N)		
Typy šroubu	Délka stavěcího šroubu (mm)	Popis	Tah	Střih	Krut (N.m)
M12	3,175 - 4,7625	velikost 1	59035	57497	79,9
M12	3,175 - 9,525	velikost 2	59035	57497	79,9
M12	101,6	velikost 3	59035	57497	79,9
M20	101,6	velikost 1	167521	153342	299,6
M20	19,05 - 25,4	velikost 2	167521	153342	299,6
M20	152,4	velikost 3	167521	153342	299,6

Tab. 2 – Bezpečné pracovní zatížení[7]



Obr. 23 – Šroubové spojení box bolt[7]

4 KONTROLNÍ ANALÝZY

4.1 Analýza rámových konstrukcí

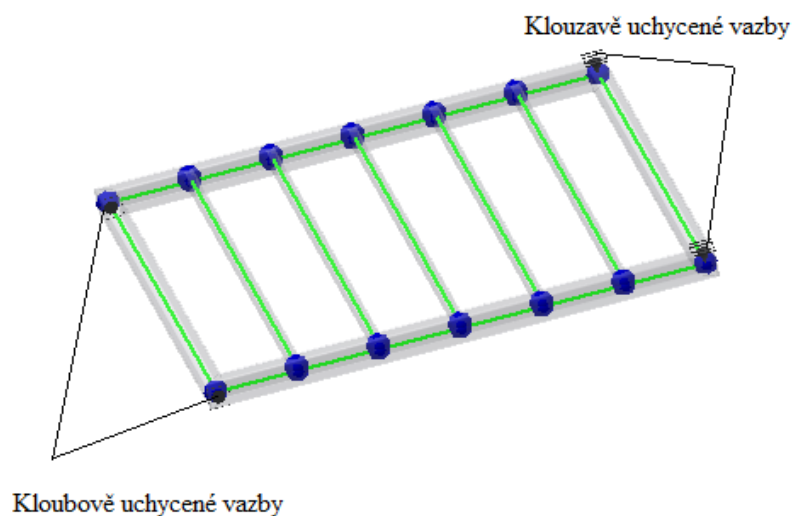
Výpočet zatěžující sil

Nosnost plošiny je 250 kg na metr čtvereční. Abychom zjistili zatížení pro spojitě zatížení musíme dostat jednotky N na milimetr čtvereční.

$$q = \frac{F}{S} = \frac{2500}{1000} = 2,5 \text{ N/mm}^2 \quad (43)$$

Materiál a vazby

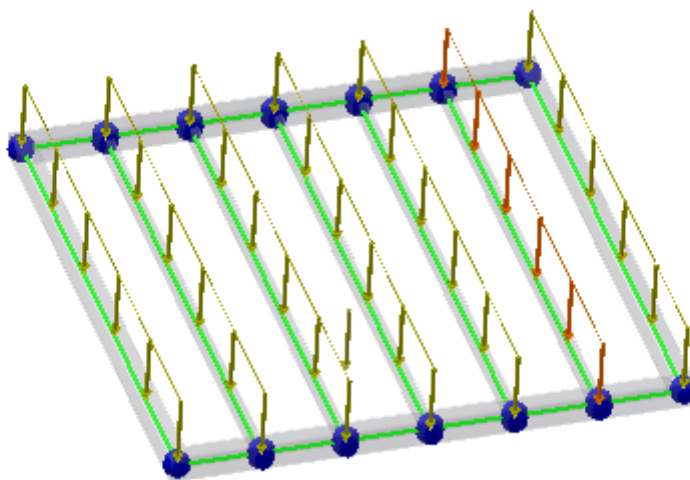
Materiál celé konstrukce jsem volil z knihovny softwaru Autodesk Inventor tak, aby splňoval všechny vlastnosti slitiny hliníku AlMgSi0,5. Tenhle materiál se běžně používá na tyto profily. Vazby jsem použil klouzavě na jedné straně a na druhé otočně. Pod vazbami jsou nohy (obr. 24), které budou pevně chycené přes univerzální spojovací člen. Klouzavě uchycená vazba umožňuje pohyb ve všech osách mimo osu kolmou na vazbu. V tomhle směru zachytí působení zatěžujících sil. Volně otočná vazba způsobí nulové posunutí a volné otáčení.



Obr. 24 – Vazby v analýze rámových konstrukcí

Zatížení

Velikost zatížení je zadaná v zadání zákazníka, 250 kg na metr čtvereční. Pro spojité zatížení, ale musím převést na N na milimetr čtvereční. Což vychází na 2,5 N na milimetr čtvereční (viz. vzorec 43). Spojité zatížení jsem dal rovnoměrně, abych co nejlíp nasimuloval situaci.



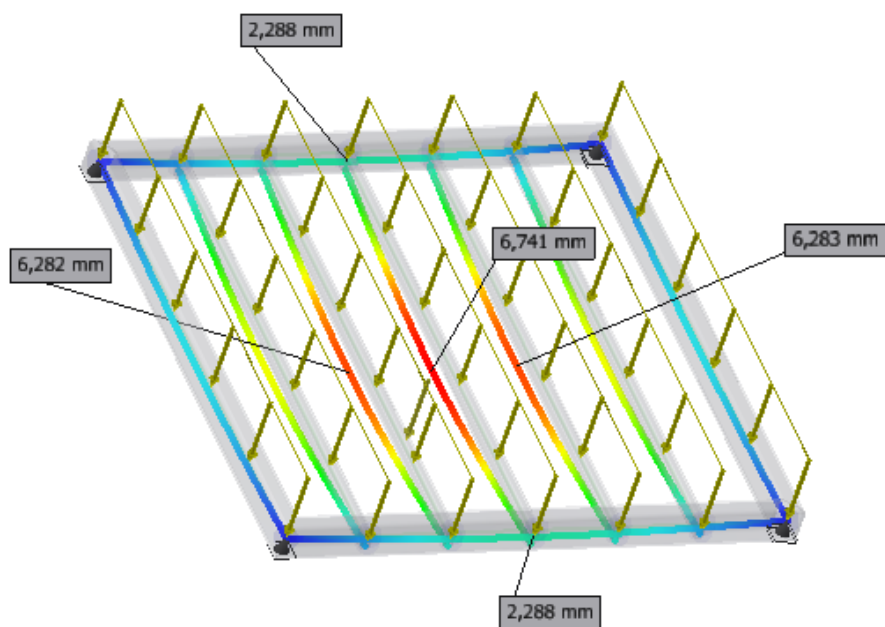
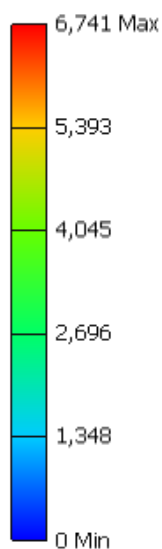
Obr. 25 – Vnější okrajové podmínky analýzy rámových konstrukcí

Výsledky

Posunutí

Hodnoty posunutí jsou znázorněny na obr. 26. Maximální hodnota 7,741 mm je vzhledem k rozměrům celé konstrukce vyhovující. Ostatní hodnoty v důležitých místech jsem zobrazil pomocí sond. Zatížení je naprosto symetrické vůči rovině Y-Z. Ve skutečnosti se váha bude rozkládat více rovnoměrně. Tím pádem posunutí nebude tak veliké.

Typ: Posunutí
Jednotky: mm
8.5.2015, 14:53:11

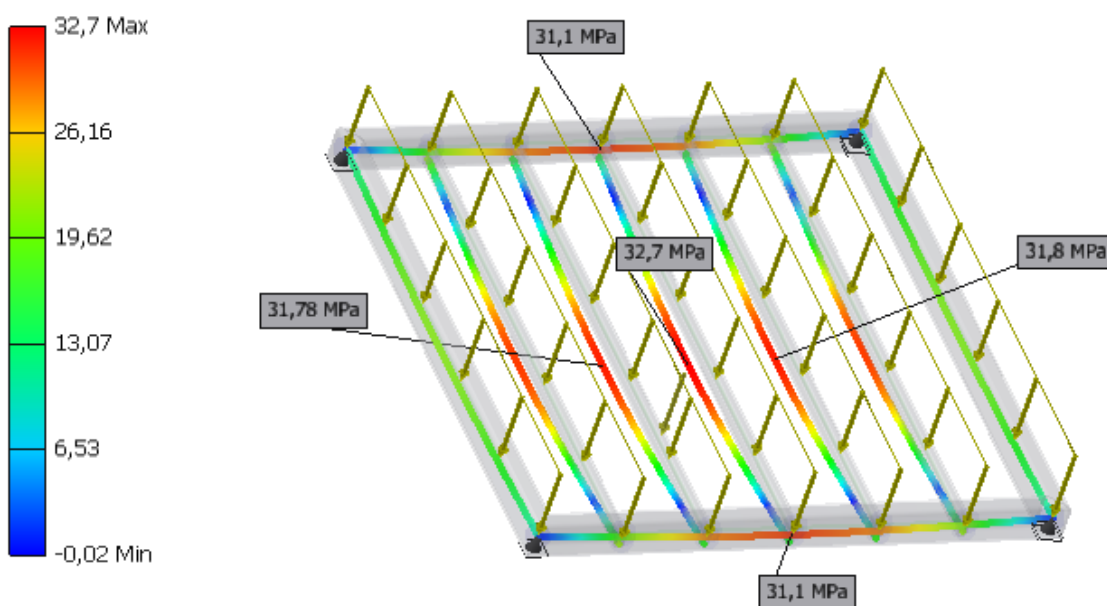


Obr. 26 – Posunutí; analýza rámových konstrukcí

Normálové napětí

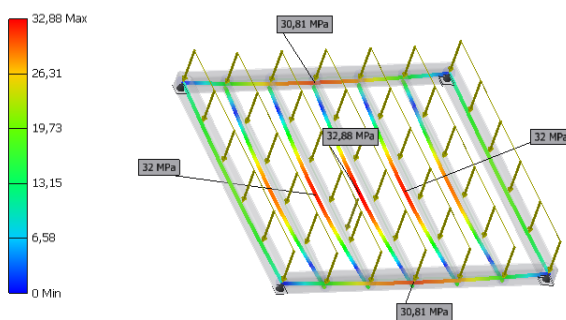
Normálové napětí je definováno jako podíl síly, působící kolmo na plochu průřezu a jeho obsahu. V pásu karet analýzy jsou možnosti zobrazení normálových napětí. Zobrazení celkového maximálního normálového napětí (obr. 27) zahrnuje jak příčné, tak podélné nosníky. Kompletně vyřeší veškerá napětí v pozorované soustavě a graficky vykreslí jejich hodnoty. Další části lze zobrazit ohybová napětí od momentů. Výhodou je jemnější grafické zobrazení, kvůli menšímu rozsahu hodnot napětí.

Typ: Normálové napětí Smax
Jednotky: MPa
8.5.2015, 15:05:14



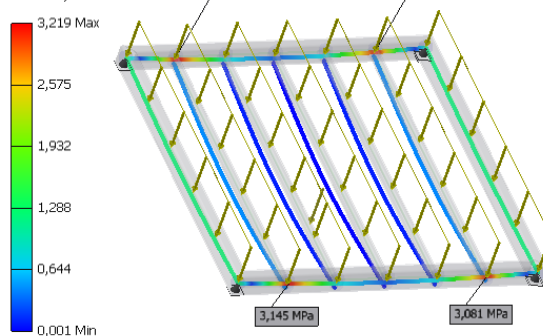
Obr. 27 – Normálové napětí; analýza rámových konstrukcí

Typ: Ohybové napětí (Mx) max
Jednotky: MPa
8.5.2015, 15:07:44



Obr. 28 – Ohybové napětí Mx

Typ: Ohybové napětí (My) max
Jednotky: MPa
8.5.2015, 15:08:09



Obr. 29 – Ohybové napětí My

Maximální normálové napětí $\sigma_{max} = 32,7 \text{ MPa}$. Toto napětí je vprostřed rámu, což se dalo očekávat. Pro výpočet statické bezpečnosti použiju $R_e = 215 \text{ MPa}$ a dynamický součinitel $f_D = 1,5$. Díky němu a zvýšením minimální hodnoty statické bezpečnosti $k_s \geq 4$ přijímám veškeré přídavné zatížení dynamického účinky na celý rám.[8]

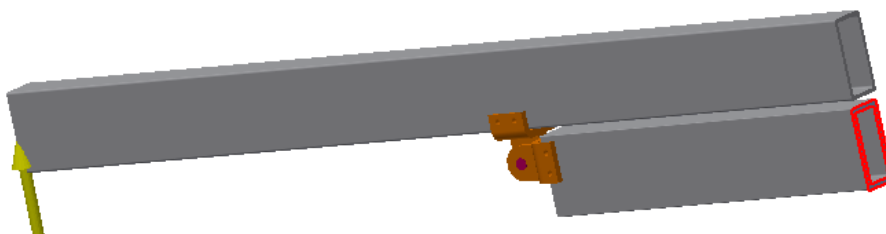
$$k_s = \frac{R_e}{f_D \cdot \sigma_{max}} = \frac{215}{1,5 \cdot 32,7} = 4,38 > 4 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (44)$$

4.2 Pevnostní analýza

Pro pevnostní analýzu jsem vytvořil speciální modely, aby simulace nebyl složitá a výpočetně náročná. Zjednodušený model neobsahuje svarové housenky, šrouby. Rozměry jednotlivých prvků odpovídají skutečnosti.

Materiál a vazby

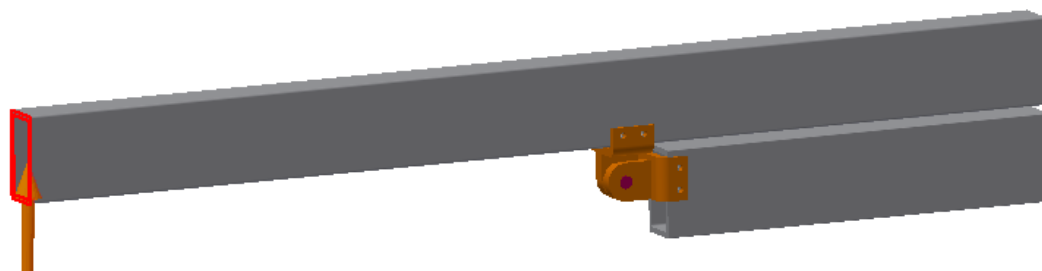
Tyhle modely jsou zjednodušené prvky konstrukce. Rám konstrukce jsem nahradil profilem dlouhým 2 m, který je ze slitiny hliníku AlMgSi0,5. Profil na přemostění jsem zvolil z oceli, pro jeho vysokou pevnost. Profil pro přemostění jsem v modelu nasimuloval jako polovinu celkové délky. Univerzální spojku jsem volil taky z oceli. Vazbu jsem zvolil pouze na profilu pro přemostění, na konci jsem dal pevnou, uvažoval jsem, že tenhle profil bude vetknutý.



Obr. 30 – Vazba v simulaci MKP

Zatížení

Zatížení jsem volil na čelní plochu profilu, ale orientace je kolmo nahoru k profilu. Jak jde vidět z obrázku 31.



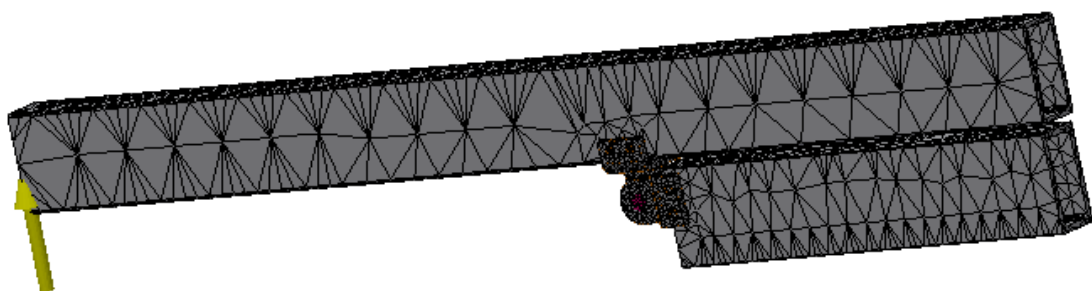
Obr. 31 – Zatížení v simulaci MKP

Dotyky

Dotyky jsem volil tak, aby přiblížily co nejvíce danou situaci. Dotyky posunutí bez oddělení jsem použil na plochy čepů a plochu oka spojek. Tento dotyk se používá u všech čepů a části pohybujících se po sobě. Dotyk separace jsou, použil na plochy profilu rámu a profilu přemostění, které jsou naproti sobě a rovnoběžné. Dotyk separace umožňuje dvěma dílům vzájemný pohyb a částečné oddělení. Ostatní dotyky jsem použil jako vázané.

Sítě

Průměrnou velikost prvku sítě jsem zvolil 0,1. Tato hodnota je v Inventoru definována jako zlomek délky ohraničujícího kvádru. Čím menší je prvek sítě, tím vyšší je přesnost simulace. To však prodlouží čas výpočtu modelu.

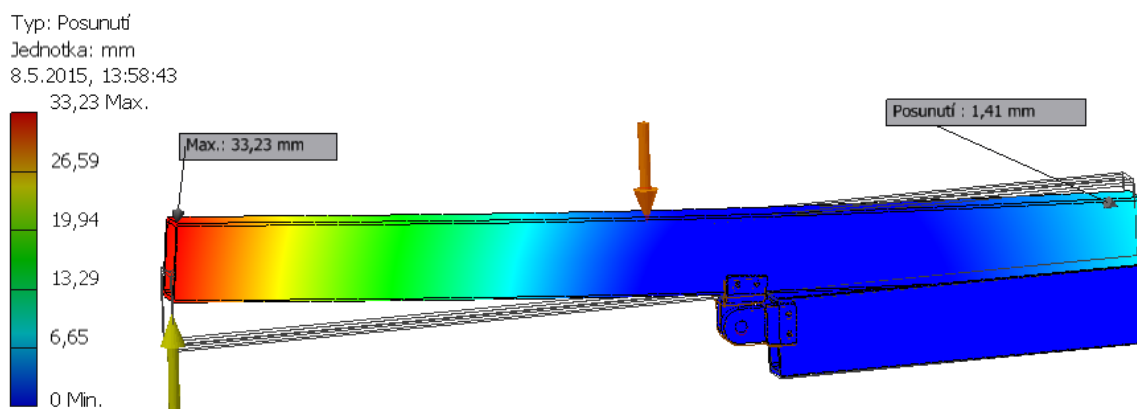


Obr. 32 – Sít' v simulaci MKP

Výsledky

Posunutí

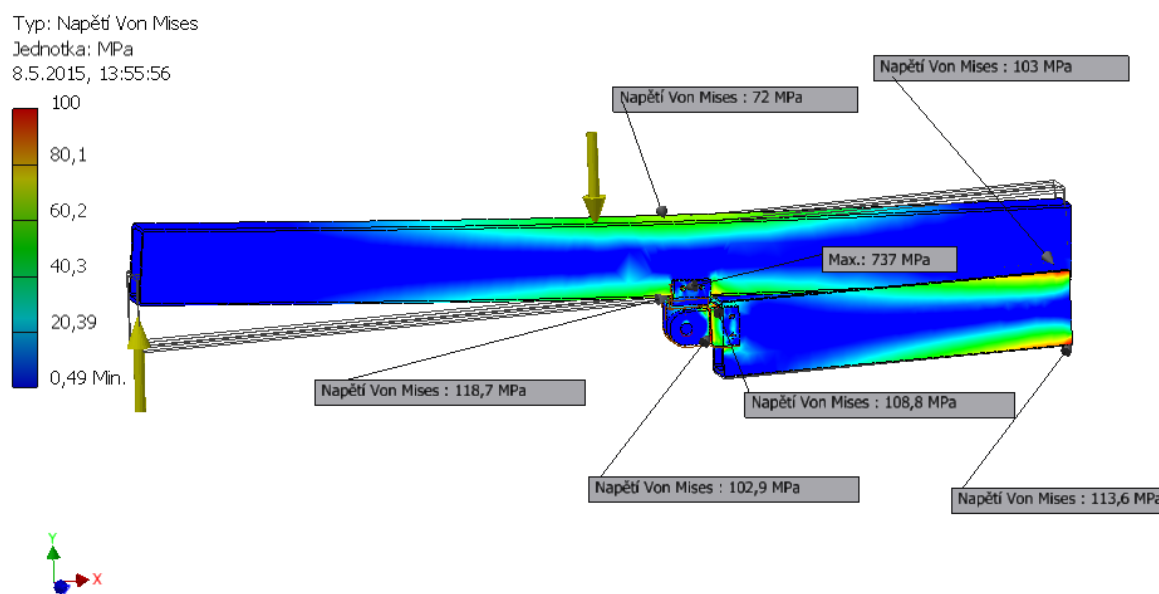
Maximální posunutí je na místě, kde působí výsledná síla na plochu. Jeho hodnota je 33,23 mm. Vzhledem k délce profilu 2000 mm je velikost maximálního posunutí vyhovující. Na konci profilu nás hodnota zajímá víc, protože je to konec rámu, a tahle hodnota nás zajímá: o kolik se posune rám, když bude vložený profil ke spodní části rámu. Tohle posunutí je 1,41 mm. Tohle posunutí, je vzhledem ke konstrukci přípustné.



Obr. 33 – Posunutí v profilů MKP

Napětí

Celkové napětí je v Inventoru řešeno jako Von Misesovo napětí. Tato metoda postihne trojrozměrná napětí v mnoha směrech. Většinou se toto napětí vyjadřuje jako ekvivalentní. Podle obr. 34 lze sledovat kriticky namáhána místa. Největší kritické místo je mezi univerzální spojkou a hliníkovým nosním profilem, ale tohle napětí jsem rozhodl zanedbat, protože tuto součást jsem už optimalizoval na dané zatížení, bohužel tam vznikla napěťová špička. Důležitější napětí je na dolním profilu, kde je napětí 113,6 MPa. Protože jsem navrhoval tyto profily pro dané zatížení a zajímalo mě, jestli tyto profily vydrží nebo je budu muset optimalizovat, které jsem optimalizoval pro dané zatížení. Dále tu máme profil samotného rámu. Tenhle profil je z hliníkové slitiny, proto nás taky zajímá. Na tomhle profilu je ve spodní části 118,7 MPa. Což je pro hliníkové konstrukce velké napětí. Díky tomu bych doporučil, snížit nosnost plošiny na 200 kg na metr čtvereční. V tomto případě je napětí 58,4 MPa, což je pro slitinu hliníku přijatelná hodnota.



Obr. 34 – Napětí v profilech MKP

V případě je-li potřeba plošinu přemostit přes nějakou překážku, je potřeba ke spojení téhle konstrukce použít jinou vyztuženou univerzální spojku, pouze v tomhle případě. Řešením téhle simulace jsem zjistil, že profil rámové konstrukce, který je ze slitiny hliníku, nevydržel. Musel jsem tedy zvětšit profil a rozšířit stěny. To samé jsem musel udělat v nosném profilu, aby dané zatížení vydržel.

Maximální normálové napětí $\sigma_{max} = 113,6$. Toto napětí je u prostřed profilu. Pro výpočet statické bezpečnosti použiji $R_e = 355$ MPa a dynamický součinitel $f_D = 1,5$. Díky němu a zvýšením minimální hodnoty statické bezpečnosti $k_s \geq 2$, přijímám veškeré přídatné zatížení dynamického účinky na celý rám.[5]

$$k_s = \frac{R_e}{f_D \cdot \sigma_{max}} = \frac{355}{1,5 \cdot 114} = \mathbf{2,07} > 2 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (45)$$

5 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout pracovní plošinu, která by se montovala z unifikovaných a typizovaných dílců, dle rozměrového zadání zákazníka. Konstrukce je výškově a šířkově variabilní. Rovněž je provedená v souladu se zákony technických podmínek pracovních plošin.

Úvodní (teoretická) část byla věnována osvětlení problematiky pracovních plošin, jejich rozdělení a dělení. Jelikož rozdělení pracovní plošin, s ohledem na absenci odborné literatury v dané oblasti, bylo složité přehledně klasifikovat, proto jsem rozdělení udělal podle sebe.

Další část byla věnována konstrukčnímu řešení plošiny. V jednotlivých kapitolách rozebírám dílčí funkční prvky. Tyto prvky jsou voleny tak, aby byly normalizované, a aby bylo co nejméně funkčních prvků. Rám je svařený z normalizovaných nosníků a jsou svařeny metodou MAG 135. Ostatní prvky jsou montované. V tomto konstrukčním řešení je použit speciální šroub box bolt, který se pro dané konstrukční spojení skvěle hodí.

Pevnostní analýzu rámu jsem provedl použitím analýzy rámových konstrukcí. Zde jsem zjistil, že nejvíce kritická místa na rámu jsou uprostřed, jak jsem očekával. Ale myslím si, že pro využití plošiny, které jsem navrhoval je tohle zatížení, až příliš velké. Uvažoval bych o třikrát menším zatížení. Díky této metodě jsem zjistil reakce, které jsem mohl použít pro výpočet kritických míst. V pevnostní analýze metodou MKP jsem kontroloval upravený model přemostěný plošiny. Kde jsem očekával kritické místa, ale vznikly napěťové špičky, rozhodl jsem se je proto zanedbat, protože mě zajímalo, jestli nosný profil vydrží, a navrhnout optimální řešení. Daný nosný profil jsem musel párkrát optimalizovat, spolu s nosným rámem, jelikož nosný rám je z hliníkové slitiny. Proto hliníkový profil snese menší napětí než ocel, tak bych předepsal, že při konstrukčním řešení přemostění, má být pracovní plošina méně zatížená maximálně 200 kg/m^3 . Závěrem lze konstatovat, že všechny cíle bakalářské práce uvedené v zadání byly splněny.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] O seznamu manipulacní techniky. VYSOKOZDVIŽNÉ VOZÍKY S.R.O. *Seznam-manipulacni-technika* [online]. 2011 [cit. 3.5.2015]. Dostupné z: <http://www.seznam-manipulacni-technika.cz/typy-manipulacni-techniky/pracovni-plosiny>
- [2] O výškových prací. *Výškové práce: Legislativa* [online]. 2000 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://vyskovepracespravne.webnode.cz/legislativa/>
- [3] O kasali. KASALI S.R.O. *Kasali* [online]. 1996 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.kasali.cz/schodistove-stupne#>
- [4] O Empate. EMPATE, a.s. *Empate: Technické normy* [online]. 2000 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.empate.cz/technicke-normy/>
- [5] O steelnnumber. 2015. *Steel number* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: http://www.steelnnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=195
- [6] O inasolutions. 1995. *LNA Solutions* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.lnasolutions.com/connection-solutions/detail/boxbolt-cavity-solutions#>
- [7] O boxbolt. 2010. *Simplified building* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://www.simplifiedbuilding.com/downloads/data_table_for_box_bolt.pdf
- [8] O ehlinik. 2015. *Ehlinik* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.ehlinik.cz/prilohy/zakladni-technicke-informace.pdf>
- [9] O DAAKKVL, s.r.o. 2010. *Daakkvl kovo* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.daakkvl-kovo.cz/cs/3-reference/21-obsluzne-plosiny-a-jejich-vykresova-dokumentace-2010.html>
- [10] O SEZAKO PŘEROV s.r.o. 2012. *SEZAKO* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.sezakoprerov.cz/cz/nabidka-sluzeb/projekce-a-konstrukce>

- [11] O ALFICO s.r.o. 2012. *ALFICO* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.alfico.cz/de/fotogalerie/oprava-obslužných-plosin-chladicího-bubnu-nalv>
- [12] O ALVE spol. s r.o. 2010. *ALVE* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.specialni-konstrukce.cz/>
- [13] O M/S Elektro CZ s.r.o. 2010. *M/S Elektro CZ* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.plosinykpronajmu.cz/plosiny/up-right-lx-41/>
- [14] O Plosiny Liberec. 2010. *Plošiny Liberec* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://plosiny-liberec.cz/plosiny/kloubove/>
- [15] O mascus. 2010. *105 VJR, Manitou* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: http://www.mascus.cz/specs/teleskopické-pracovní-plosiny-vertikální_971403
- [11] KALÁB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části spojovací. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007, 90 s. ISBN 978-80-248-1290-8*
- [12] KALÁB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části pohonů strojů. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008, 128 s. ISBN 978-80-248-1860-3*
- [13] LEINVEBER, J.; VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky. 5. dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2011, 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4*
- [14] HALAMA, R.; ADÁMKOVÁ, L.; FOJTÍK, F.; FRYDRÝŠEK, K.; ŠOFER, M.; ROJÍČEK, J.; FUSEK, M.: *Pružnost a pevnost (reg. č. CZ.1.07/2.2.00/07.0332)*
- [15] KLETEČKA, J.; FOŘT, P.: *Technické kreslení. 1. vyd. Brno: Press, 2005, ISBN 80-251-0498-2*

7 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres sestavy – Pracovní plošiny – P_00_BAR0244
Příloha 2 Výkres svařence – Výškově nastavitelné podpěry – N_00_BAR0244

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Tomášovi Kubínovi za cenné rady, připomínky, a ochotu a čas.